

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
15 juillet 2004 (15.07.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/059356 A2

(51) Classification internationale des brevets⁷ : G02B 6/34

(72) Inventeur; et

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2003/050169

(75) Inventeur/Déposant (*pour US seulement*) : MARTINEZ, Christophe [FR/FR]; 5, rue André Maginot, F-38000 GRENOBLE (FR).

(22) Date de dépôt international :

15 décembre 2003 (15.12.2003)

(74) Mandataire : POULIN, Gérard; c/o BREVALEX, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 PARIS (FR).

(25) Langue de dépôt :

français

(81) État désigné (*national*) : US.

(26) Langue de publication :

français

(84) États désignés (*régional*) : brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(30) Données relatives à la priorité :

02/15917 16 décembre 2002 (16.12.2002) FR

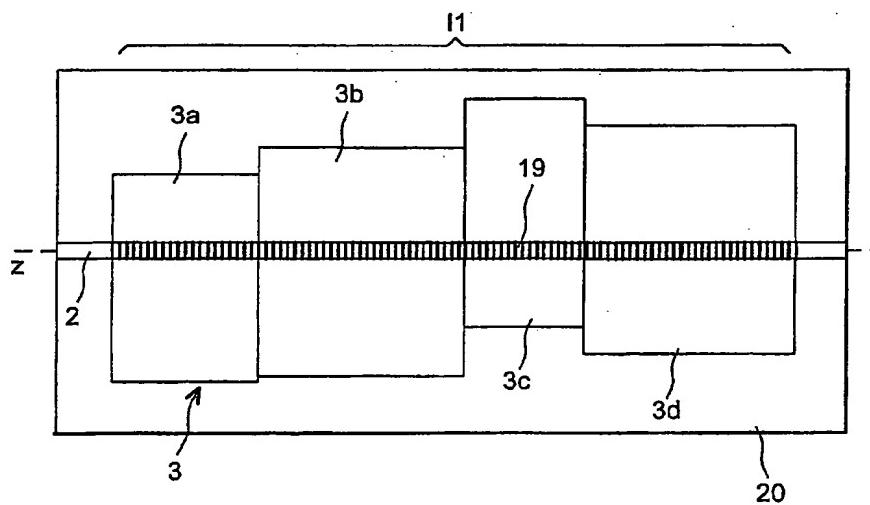
Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: ARTIFICIAL CLADDING GRATING IN INTEGRATED OPTICS COMPRISING A COUPLING VARIATION AND PRODUCTION METHOD THEREOF

(54) Titre : RESEAU A GAINE ARTIFICIELLE EN OPTIQUE INTEGREE PRESENTANT UNE VARIATION DE COUPLAGE AINSI QUE SON PROCEDE DE REALISATION



(57) Abstract: The invention relates to an artificial cladding grating in integrated optics and to the production method thereof. The invention comprises a substrate (20) containing a lightguide core (2) and an optical cladding (3, 3a, 3b, 3c, 3d) which is independent of the core and which surrounds at least one portion of said core in a zone of the substrate known as the interaction zone (11). The aforementioned interaction zone comprises a grating (19) which can couple at least one guided mode of the core to at least one cladding mode, or vice versa, said interaction zone comprising a coupling variation along the direction of propagation z of the modes. Moreover, the refractive index of the cladding is different from the refractive index of the substrate and less than the refractive index of the core at least in the part of the cladding close to the core in the interaction zone.

[Suite sur la page suivante]

WO 2004/059356 A2

WO 2004/059356 A2



En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) Abrégé : L'invention concerne un réseau à gaine artificielle en optique intégrée comportant dans un substrat (20) un cœur de guide optique (2), une gaine optique (3, 3a, 3b, 3c, 3d) indépendante du cœur et entourant au moins une portion du cœur dans une zone du substrat dite zone d'interaction (II) comprenant un réseau (19) apte à coupler au moins un mode guidé du cœur à au moins un mode de gaine ou inversement, ladite zone d'interaction comportant une variation de couplage le long de la direction de propagation z des modes, l'indice de réfraction de la gaine étant différent de l'indice de réfraction du substrat et inférieur à l'indice de réfraction du cœur au moins dans la partie de la gaine voisine du cœur dans la zone d'interaction.

**RESEAU A GAINES ARTIFICIELLES EN OPTIQUE INTEGREE
PRESENTANT UNE VARIATION DE COUPLAGE AINSI QUE SON
PROCEDE DE REALISATION**

5

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

L'invention concerne un réseau à gaine artificielle en optique intégrée, présentant une variation de couplage ainsi que son procédé de réalisation.

On entend par réseau à gaine artificielle ou "artificial cladding grating" (ACG) en terminologie anglo-saxonne une zone d'interaction réalisée dans un substrat, cette zone d'interaction comprenant un cœur réalisé dans le substrat, une gaine créée artificiellement dans le substrat indépendamment du cœur et un réseau. Le réseau étant apte à coupler le ou les modes du cœur à un ou des modes de gaine et inversement.

L'invention trouve des applications dans tous les domaines nécessitant notamment un filtrage spectrale. Elle s'applique en particulier à la réalisation d'aplatisseurs de gain pour les amplificateurs optiques utilisés par exemple dans le domaine des télécommunications ou encore à la réalisation de filtres de réponse linéaire avec la longueur d'onde sur une bande spectrale définie pour la reconnaissance spectrale notamment pour mesurer des décalages spectraux à partir de variation de puissance par exemple dans le domaine des capteurs.

D'une manière générale, l'invention s'applique particulièrement bien à tous les systèmes nécessitant l'emploi d'un filtrage de réponse spectrale adapté à un besoin déterminé, ce type de filtrage nécessitant généralement le développement d'un filtre évolué.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

L'utilisation de réseaux optiques est connue dans le domaine des fibres optiques.

Dans ce domaine, la gaine optique entoure classiquement le cœur de la fibre et présente un indice de réfraction inférieur à celui du cœur pour permettre la propagation d'une onde lumineuse dans le cœur. Conjointement, la gaine optique permet le maintien mécanique du cœur. Le cœur d'une fibre ne peut exister sans la gaine.

Par ailleurs, le réseau optique réalisé dans la fibre permet de coupler un ou des modes guidés dans le cœur d'une fibre vers le ou les modes de gaine de la fibre ou inversement. Ce réseau est en général formé dans le cœur de la fibre.

Pour faire varier le couplage de ce type de réseau, il est connu de modifier la taille de la gaine pour modifier l'indice effectif du ou des modes guidés.

On peut se reporter par exemple au brevet US 5 420 948

Cependant, la réalisation d'une gaine à taille variable est complexe. Elle fait appel en particulier à des techniques d'insolation laser,

d'étirement de la fibre ou de gravure chimique, fragilisant le composant final.

Sur la figure 1, on montre en coupe dans un plan contenant la direction z de propagation d'une onde lumineuse, une telle fibre optique. Cette fibre est 5 composée d'un cœur 9 et d'une gaine 11. La gaine présente une première zone de rétrécissement 11a (appelée "taper" en terminologie anglo-saxonne) dans laquelle est placé un réseau 13. Le rétrécissement de 10 la gaine a pour effet la variation de l'indice effectif le long du réseau ce qui revient à créer un "chirp" sur le réseau c'est-à-dire une variation de la longueur d'onde de résonance le long du réseau.

La gaine présente ensuite une zone 11b 15 rétrécie mais de section constante, puis une zone 11c d'élargissement permettant d'adapter la section rétrécie de la gaine à la section normale de celle-ci.

La modulation de la taille de la gaine est obtenue dans ce cas de figure par attaque chimique ou 20 par fusion étirage de la fibre.

En plus des difficultés mécaniques, le cœur d'une fibre ne pouvant exister sans la gaine optique, cette dépendance limite les possibilités de paramétrage de la gaine, des réseaux et les solutions de 25 conceptions, d'architecture et d'intégration des réseaux dans des systèmes complexes.

EXPOSE DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de 30 proposer un réseau à gaine artificielle en optique intégrée, présentant une variation de couplage ainsi

que son procédé de réalisation. L'utilisation d'une gaine selon l'invention permettant de pallier les difficultés de l'art antérieur en offrant d'une part plus de possibilités dans la réalisation de cette 5 variation et d'autre part une structure qui ne soit pas fragile.

Un but de l'invention est de proposer un réseau à gaine artificielle, la gaine optique étant indépendante du cœur de guide auquel elle est associée. 10 On entend par indépendance du cœur et de la gaine, le fait qu'ils peuvent exister dans un substrat indépendamment l'un de l'autre. Autrement dit, le cœur peut exister sans la gaine et la gaine peut exister sans le cœur.

15 De façon plus précise, le réseau à gaine artificielle en optique intégrée de l'invention comporte dans un substrat un cœur de guide optique, une gaine optique indépendante du cœur et entourant au moins une portion du cœur dans une zone du substrat 20 dite zone d'interaction comprenant un réseau apte à coupler au moins un mode guidé du cœur à au moins un mode de gaine ou inversement, ladite zone d'interaction comportant une variation de couplage le long de la direction de propagation des modes, l'indice de 25 réfraction de la gaine étant différent de l'indice de réfraction du substrat et inférieur à l'indice de réfraction du cœur au moins dans la partie de la gaine voisine du cœur dans la zone d'interaction.

On entend par entourer le fait que le 30 profil de mode fondamental du cœur du guide présente un maximum qui est inclus dans le profil d'indice de la

gaine. Ainsi le profil du mode fondamental du cœur peut-être tout ou parti inclus dans le profil d'indice de la gaine ce qui se traduit au niveau structurel par un cœur situé n'importe où dans la gaine y compris à sa 5 périphérie auquel cas le cœur peut-être en partie à l'extérieur de la gaine.

Le couplage des modes générés par le réseau a deux caractéristiques principales : la longueur d'onde de couplage et la force de couplage. Ce sont 10 avantageusement ces caractéristiques dont on réalise les variations.

Ainsi, selon l'invention, la variation de couplage le long de la direction de propagation des modes peut être une variation de la force de couplage 15 et/ou de la longueur d'onde de couplage. Cette variation est telle qu'elle permet l'obtention en sortie de la zone d'interaction dans la gaine et/ou dans le cœur, des spectres lumineux recherchés.

Cette variation de couplage permet ainsi 20 d'utiliser le réseau à gaine artificielle de l'invention dans un grand nombre de composants, compte tenu du fait que le couplage peut-être ainsi adapté à l'application désirée.

Différents modes de réalisation de cette 25 variation qui peuvent-être combinés entre-eux sont envisageables.

Selon un premier mode de réalisation, la variation de couplage du réseau à gaine artificielle est obtenue par une modulation de la section de la 30 gaine dans la zone d'interaction.

Selon un deuxième mode de réalisation, la variation de couplage du réseau à gaine artificielle est obtenue par une variation du centrage du cœur par rapport à la section de la gaine. On peut en effet 5 jouer sur la position relative du cœur par rapport à la gaine ou de la gaine par rapport au cœur.

Le couplage par un réseau entre différents modes a lieu pour des longueurs d'onde déterminées λ_j définies par la relation connue suivante :

10

$$\lambda_j = \Lambda \times (n_0 - n_j) \quad (1)$$

avec :

- n_0 l'indice effectif du mode guidé 0 dans le cœur,
- 15 - n_j l'indice effectif du mode de gaine numéro j ,
- λ_j la longueur d'onde de résonance pour le couplage au mode j ,
- Λ la période du réseau.

20

Ce couplage se traduit par un transfert d'énergie entre le mode guidé du cœur et le ou les modes de gaine pour les longueurs d'ondes centrales λ_j ou inversement. L'énergie couplée dans les modes de gaine est ensuite guidée dans la gaine, le même raisonnement peut-être fait pour le mode couplé dans le cœur.

La modification de λ_j passe donc par le paramétrage de Λ et/ou de la répartition des indices effectifs des différents modes.

Par ailleurs, l'efficacité du couplage entre les modes dépend de la longueur du réseau et du coefficient de couplage K_{0j} entre les modes 0 et j. Ce coefficient est donné par l'intégrale de recouvrement 5 spatiale des modes 0 et j, pondérée par le profil d'indice induite par le réseau. On a ainsi une relation du type :

$$K_{0j} \propto \iint \xi_0 \cdot \xi_j^* \Delta n ds \quad (2)$$

10

avec :

- ξ_0 et ξ_j les profils transversaux des modes 0 et j et ξ_j^* le conjugué complexe de ξ_j ,
 - An l'amplitude de la modulation d'indice effectif induite par le réseau dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation des modes,
 - ds est un élément d'intégration dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation des modes.
- 15
- 20

La modification de K_{0j} est obtenue en faisant varier le profil des modes et/ou le profil d'indice induit par le réseau, autrement dit en faisant 25 varier notamment les caractéristiques opto-géométriques de la gaine.

Au niveau d'une gaine, plus ses dimensions et son niveau d'indice seront importants plus on aura de modes de gaines admis à se propager et plus on aura 30 donc de bandes spectrales de filtrage possibles. Cela

peut être un avantage si on cherche des filtrages multiples ou pour avoir plus de marge dans le choix d'un mode de filtrage.

Si on cherche à limiter le nombre de modes 5 de gaine pouvant être couplé, il est intéressant à l'inverse de réduire les dimensions opto-géométriques de la gaine.

Au niveau du cœur, ses dimensions et son niveau d'indice conditionnent les caractéristiques du 10 mode qui s'y propage. Par ailleurs, plus les écarts d'indice entre le cœur, la gaine et le substrat seront importants et plus on aura potentiellement de chance d'avoir des couplages pour des périodes de réseaux faibles comme le montre l'équation (1) (à une longueur 15 d'onde de résonance donnée, la période est inversement liée à la différence d'indice entre le mode guidé du cœur et le mode de gaine).

En jouant sur la position du cœur, du réseau et de la gaine, on peut générer des couplages 20 différents. En effet, on voit bien à partir de l'équation (2) que la force du couplage dépend de la position relative dans le plan transverse à la direction de propagation des profils du mode de gaine, du mode guidé dans le cœur et du réseau.

Les paramètres liés au réseau étant plus 25 difficiles à maîtriser que ceux liés à la gaine, on choisit de réaliser de façon avantageuse un réseau à motif constant en période et/ou en amplitude et de jouer sur les autres paramètres du couplage tels que 30 les dimensions opto-géométriques de la gaine et le décentrement du cœur.

En effet, concernant le décentrement du cœur, si le mode du cœur et le mode de la gaine ainsi que Δn ont des profils symétriques, le coefficient de couplage est généralement non nul. Dans ce cas, on peut 5 montrer qu'un décentrage du cœur par rapport à la gaine change peu la valeur de K .

Si on considère par contre un couplage du mode fondamental symétrique à un mode fondamental non symétrique, l'intégrale de recouvrement est nulle. Dans 10 ce cas, la présence d'un décentrement entre le cœur et le guide augmente K . On montre alors que cette variation de K est dépendante du décentrement δx mais peu de la variation de taille de gaine.

En outre, la réalisation du réseau à gaine 15 artificielle en optique intégrée permet l'obtention de la gaine avantageusement par une modification de l'indice de réfraction du substrat, en particulier par implantation ou échange ionique. De ce fait, la forme souhaitée de la gaine peut être obtenue sans gravure ou 20 étirement comme dans l'art antérieur, mais par exemple avec un masque de motif approprié.

La solution de l'invention offre ainsi des avantages pratiques de réalisation (notamment simplicité et robustesse).

Par ailleurs, la gaine et le cœur existent 25 indépendamment l'un de l'autre dans le substrat ce qui n'est pas le cas dans l'art antérieur. Cette indépendance permet plus de souplesse dans la réalisation du composant de l'invention et une 30 intégration aisée de ce composant dans une architecture complexe. En particulier, le cœur peut ne plus être

situé dans la gaine en dehors des zones d'interaction mais uniquement dans le substrat ce qui permet l'isolement optique du cœur. Ainsi la gaine n'agit sur la propagation d'une onde lumineuse dans le cœur du 5 guide associé que dans la partie qui entoure le cœur et la gaine peut guider ou véhiculer des ondes lumineuses indépendamment du cœur. Cette indépendance entre le cœur et la gaine permet de créer aussi un plus grand nombre de combinaisons en faisant varier non seulement 10 la taille de la gaine mais aussi la position du cœur dans la gaine.

Le réseau selon l'invention, formé dans la zone d'interaction, peut comporter un ou plusieurs réseaux élémentaires. On entend par réseau élémentaire, 15 un réseau dont tous les paramètres structurels sont constants.

Le réseau peut être réalisé par la perturbation directe du cœur du guide par exemple par segmentation du cœur et/ou par la variation de section 20 du cœur. Le réseau peut aussi être obtenu par une perturbation indirecte du cœur, telle que la gravure en surface du substrat, la segmentation de la gaine et/ou encore la variation de section de la gaine. Ces différents modes de réalisation peuvent-être combinés 25 entre eux.

En corollaire, des réseaux de type réseaux apodisés ou chirpés peuvent être ainsi aisément réalisés.

Le substrat peut bien entendu être réalisé 30 par un seul matériau ou par la superposition de plusieurs couches de matériaux. Dans ce dernier cas,

l'indice de réfraction de la gaine est différent de l'indice de réfraction du substrat au moins en ce qui concerne les couches voisines de la gaine.

De façon avantageuse, la gaine présente un indice de réfraction supérieur à celui du substrat.

Selon l'invention, le guide peut être un guide planaire, lorsque le confinement de la lumière se fait dans un plan contenant la direction de propagation de la lumière ou un microguide, lorsque le confinement de la lumière est réalisé dans deux directions transverses à la direction de propagation de la lumière.

Selon l'invention une onde lumineuse introduite dans le cœur d'un réseau à gaine artificielle est filtrée dans ladite zone. En effet, un ou des modes guidés de l'onde lumineuse introduite dans le cœur sont couplés dans la zone d'interaction par le réseau, à un ou plusieurs modes de la gaine associée à cette zone, pour les longueurs d'onde λ_j définis dans la relation (1). La partie couplée de l'onde lumineuse dans le ou les modes de gaine peut-être ou non récupérée en sortie de la gaine et la partie non couplée de l'onde continue à être véhiculée par le cœur en sortie de la zone d'interaction. Ledit cœur peut être relié à un composant optique. Le même raisonnement peut être fait, lorsque l'onde lumineuse est introduite dans la gaine.

Le réseau à gaine artificielle de l'invention s'applique notamment à la réalisation d'un aplatisseur de gain. Dans ce cas, la variation de couplage doit être telle qu'une onde lumineuse

comportant plusieurs bandes spectrales d'amplitude différentes, après passage dans ladite zone d'interaction est transformée en une onde lumineuse dont les bandes spectrales présentes toutes 5 sensiblement la même amplitude.

On entend par bande spectrale une bande présentant un ensemble de longueurs d'onde avec une longueur d'onde centrale et une largeur de bande déterminées, une onde lumineuse pouvant comporter une 10 ou plusieurs bandes spectrales.

L'utilisation d'un tel composant est particulièrement intéressant dans un amplificateur optique, afin de récupérer en sortie de l'amplificateur une onde lumineuse dont les bandes spectrales présentes 15 toutes la même amplitude.

Le réseau à gaine artificielle de l'invention s'applique aussi notamment à la réalisation d'un filtre linéaire. En effet, un filtre linéaire est un composant de filtrage dont la fonction de transfert 20 spectrale est linéaire par rapport à la longueur d'onde. L'utilisation d'un tel composant permet par exemple de stabiliser une source laser en fréquence. Notamment, le passage d'un signal laser de bande spectrale étroite autour d'une longueur d'onde centrale 25 λ_0 par un filtre approprié réalisé selon l'invention donne en sortie un signal proportionnel à cette longueur d'onde $T(\lambda_0) = a\lambda_0 + \beta$ où β est une constante. Le moindre décalage spectrale dans un sens ou dans un autre du spectre se traduit alors par une baisse ou une 30 augmentation du signal de sortie. On peut alors réaliser un asservissement de ce signal de sortie à une

commande du laser agissant sur la position spectrale de l'émission et stabiliser ainsi la source. La stabilisation de la source laser ne nécessite alors qu'un réseau à gaine artificielle et un photodétecteur, un analyseur de spectre est rendu inutile.

Selon un mode préféré, la gaine et/ou le cœur du guide et/ou le réseau peuvent être réalisés par tous types de technique permettant de modifier l'indice de réfraction du substrat. On peut citer notamment les techniques d'échanges d'ions, l'implantation ionique et/ou le rayonnement par exemple par l'insolation laser ou la photo inscription laser (le rayonnement produisant des échauffements locaux) ou encore le dépôt de couches.

La technologie par échange d'ions dans le verre est particulièrement intéressante mais d'autres substrats que le verre peuvent bien entendu être utilisés tels que par exemple les substrats cristallins de type KTP ou LiNbO₃, ou encore du LiTaO₃.

De façon plus générale, le réseau peut-être réalisé par toutes les techniques permettant de changer l'indice effectif du substrat. Aux techniques précédemment citées, on peut donc rajouter notamment les techniques de réalisation de réseaux par gravure du substrat. Cette gravure peut être réalisée au-dessus de la gaine ou dans la portion de gaine de la zone d'interaction et/ou dans la portion de cœur de la zone d'interaction.

Le motif du réseau peut être obtenu soit par balayage laser dans le cas de l'utilisation d'un rayonnement, soit par un masque. Ce dernier peut être

le masque qui permet l'obtention du cœur et/ou de la gaine ou un masque spécifique pour la réalisation du réseau.

L'invention concerne également un procédé
5 de réalisation d'un réseau à gaine artificielle tel que défini précédemment, la gaine, le cœur du guide et le réseau étant réalisés respectivement par une modification de l'indice de réfraction du substrat de façon à ce qu'au moins dans la partie de la gaine
10 voisine du cœur et au moins dans la zone d'interaction, l'indice de réfraction de la gaine soit différent de l'indice de réfraction du substrat et inférieur à l'indice de réfraction du cœur et de façon à ce que la zone d'interaction présente une variation de couplage
15 le long de la direction de propagation des modes.

Selon un mode préféré de réalisation, le procédé de l'invention comporte les étapes suivantes :

- a) introduction d'une première espèce ionique dans le substrat de façon à permettre l'obtention après
20 l'étape c) de la gaine optique,
- b) introduction d'une deuxième espèce ionique dans le substrat de façon à permettre l'obtention après l'étape c) du cœur du guide,
- c) enterrage des ions introduits aux étapes a) et
25 b) de façon à obtenir la gaine et le cœur du guide,
- d) réalisation du réseau.

L'ordre des étapes peut bien entendu être inversé..

30 L'introduction de la première et/ou de la deuxième espèce ionique est réalisée de façon

avantageuse par un échange ionique, ou par implantation ionique.

La première et la deuxième espèces ioniques peuvent être les mêmes ou elles peuvent être 5 différentes.

L'introduction de la première espèce ionique et/ou l'introduction de la deuxième espèce ionique peuvent être réalisées avec l'application d'un champ électrique.

10 Dans le cas d'un échange ionique le substrat doit contenir des espèces ioniques aptes à être échangés.

Selon un mode préféré de réalisation, le substrat est du verre et contient des ions Na⁺ 15 préalablement introduits, la première et la deuxième espèces ioniques sont des ions Ag⁺ et/ou K⁺.

Selon un mode de réalisation, l'étape a) comprend la réalisation d'un premier masque comportant un motif apte à l'obtention de la gaine, l'introduction 20 de la première espèce ionique étant réalisée à travers ce premier masque et l'étape b) comprend l'élimination du premier masque et la réalisation d'un deuxième masque comportant un motif apte à l'obtention du cœur, l'introduction de la deuxième espèce ionique étant 25 réalisée à travers ce deuxième masque.

Les masques utilisés dans l'invention sont par exemple en aluminium, en chrome, en alumine ou en matériau diélectrique.

Selon un premier mode de réalisation de 30 l'étape c), l'enterrage de la première espèce ionique est réalisée au moins partiellement avant l'étape b) et

l'enterrage de la deuxième espèce ionique est réalisée au moins partiellement après l'étape b).

Selon un deuxième mode de réalisation de l'étape c), l'enterrage de la première espèce ionique 5 et l'enterrage de la deuxième espèce ionique sont réalisés simultanément après l'étape b).

Selon un troisième mode de réalisation de l'étape c), l'enterrage comporte un dépôt d'au moins une couche de matériau d'indice de réfraction 10 avantageusement inférieur à celui de la gaine, sur la surface du substrat.

Ce mode peut être bien entendu combiné avec les deux modes précédents.

De façon avantageuse, au moins une partie 15 de l'enterrage est réalisée avec l'application d'un champ électrique.

Généralement avant l'enterrage sous champ et/ou le dépôt d'une couche, le procédé de l'invention peut comporter en outre un enterrage par rediffusion 20 dans un bain ionique.

Cette étape de rediffusion peut être réalisée en partie avant l'étape b) pour rediffuser les ions de la première espèce ionique et en partie après l'étape b) pour rediffuser les ions de la première et 25 de la deuxième espèces ioniques. Cette étape de rediffusion peut également être réalisée en totalité après l'étape b) pour rediffuser les ions des première et deuxième espèces ioniques.

A titre d'exemple cette rediffusion est 30 obtenue en plongeant le substrat dans un bain contenant

la même espèce ionique que celle contenue préalablement dans le substrat.

L'étape d) de réalisation du réseau peut être mis en œuvre indépendamment des étapes a) et b) ou 5 être réalisé simultanément au cours de l'étape a) et/ou de l'étape b).

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va 10 suivre, en référence aux figures des dessins annexés. Cette description est donnée à titre purement illustratif et non limitatif.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

- 15 - La figure 1 déjà décrite, représente schématiquement, un réseau réalisé dans une fibre optique, la gaine optique comportant une variation de section,
- 20 - la figure 2 représente schématiquement en coupe, un premier exemple de réseau à gaine artificielle selon l'invention dans lequel la section de la gaine varie de manière discontinue ainsi que le centrage du cœur dans la gaine,
- 25 - la figure 3 représente schématiquement en coupe, un deuxième exemple de réseau à gaine artificielle selon l'invention, dans lequel seul la section de la gaine varie et de façon continue,
- 30 - La figure 4 représente schématiquement en coupe, un troisième exemple de réseau à gaine artificielle selon l'invention, dans lequel seul

le centrage du cœur dans la gaine varie et de façon continue,

- la figure 5 représente schématiquement en coupe, un quatrième exemple de réseau à gaine artificielle selon l'invention, dans lequel la section de la gaine ainsi que le centrage du cœur dans la gaine varient de façon continue,
5
- la figure 6 représente schématiquement en coupe, un autre exemple de réseau à gaine artificielle selon l'invention, dans lequel également seul le centrage du cœur dans la gaine varie continuement,
10
- les figures 7a à 7d illustrent schématiquement en coupe un exemple de procédé de réalisation d'un réseau à gaine artificielle selon l'invention,
15
- les figures 8a à 8d illustrent schématiquement des variantes de réalisation de motif de masque permettant d'obtenir un réseau, et
20
- la figure 9 représente en coupe une variante de réalisation d'un réseau à gaine artificielle selon l'invention présentant un réseau dans la gaine.

DESCRIPTION DETAILLÉE DE MODES DE MISE EN ŒUVRE DE L'INVENTION

La figure 2 représente schématiquement en coupe, un premier exemple de réseau à gaine artificielle selon l'invention dans lequel la section de la gaine varie ainsi que le centrage du cœur dans la gaine.
25

Cette coupe est réalisée dans un plan parallèle à la surface du substrat et contenant la
30

direction z de propagation de l'onde lumineuse dans le cœur.

Sur cette figure est représenté un substrat 20 dans lequel sont réalisés une gaine optique 3, un cœur de guide 2 et un réseau 19.

La gaine optique 3 est indépendante du cœur et entoure une partie du cœur dans une zone du substrat dite zone d'interaction II comprenant le réseau 19.

Dans cet exemple de réalisation, le réseau 10 est formé dans le cœur 2. Par ailleurs, la gaine se compose de 4 parties référencées respectivement 3a, 3b, 3c, 3d appelées gaines élémentaires qui sont mises en série. Ces gaines élémentaires présentent des tailles différentes et des positions de leur centre au cœur du 15 guide, différentes.

Ainsi, en jouant à la fois sur la taille des gaines élémentaires et sur le décentrement du cœur par rapport à ces gaines élémentaires on peut obtenir un réseau de type évolué.

20 Dans cet exemple de réalisation, le cœur du guide 2 et le réseau 19 sont uniformes tout le long de la zone d'interaction, seule la forme de la gaine et sa position par rapport au cœur évoluent. Cette évolution se fait par paliers grâce aux différences existant 25 entre les gaines élémentaires et permet de faire varier le couplage dans la zone d'interaction.

Ce type de réseau à gaine artificielle peut être utilisé par exemple pour réaliser un filtrage apte en particulier à réaliser un aplatisseur de gain 30 notamment pour des amplificateurs optiques ou un filtre de réponse linéaire.

De façon générale le principe de la mise en série de gaines élémentaires entourant un même cœur de guide peut être étendue au principe d'une gaine de position et/ou de taille variant uniformément par rapport au cœur (et en non plus par palier comme précédemment). Les figures 3, 4 et 5 suivantes en sont des exemples.

Ces figures sont des coupes schématiques dans un plan parallèle à la surface du substrat et contenant la direction z de propagation de l'onde lumineuse dans le cœur du guide.

Sur la figure 3, est représentée dans le substrat 20, une gaine 31, un cœur de guide 21 et un réseau 41 formé dans cet exemple dans le cœur.

La zone d'interaction I2 correspond à la zone du substrat qui comporte simultanément la gaine, le cœur et le réseau.

La variation de couplage le long de la direction z de propagation d'une onde lumineuse dans le cœur est obtenue dans cet exemple par une variation de la section de la gaine selon cette direction. De façon plus précise, la largeur de la gaine, considérée dans le plan de la figure, diminue d'une valeur maximum à l'extrémité 31a de la gaine, à une valeur minimum à l'autre extrémité 31b de celle-ci. Cette variation de la largeur de la gaine peut être définie le long du motif du réseau suivant une fonction continûment variable. De ce fait, la longueur d'onde de couplage est, elle aussi continûment variable (effet de chirp) le long du réseau.

La figure 4 présente un exemple de réseau à gaine artificielle dans lequel la variation du couplage est obtenue par un décentrement de la gaine par rapport au cœur, la section de la gaine étant constante. Ainsi, sur cette figure, on retrouve dans le substrat 20, une gaine optique 32, un cœur de guide 22 et un réseau 42. La zone d'interaction formée à partir de ces 3 éléments est référencée I3. La forme de la gaine est telle que son axe de symétrie 15 dans le plan de la figure, est décentré au centre de la gaine, par rapport à la direction z, correspondant à l'axe de symétrie du cœur 22 ; les deux extrémités 32a et 32b de la gaine sont par contre, progressivement recentrées suivant cette direction z (autrement dit aux extrémités de la gaine, l'axe 15 et la direction z sont confondus) de façon à réduire le coefficient de couplage.

De cette façon, le réseau à gaine artificielle de l'invention excite un mode de profil non symétrique ; il correspond à un réseau de type apodisé. En effet, ce type de composant est caractérisé par un réseau dont l'efficacité de couplage décroît doucement à ses extrémités. De sorte, il n'y a pas de phénomène discontinu dans le couplage et la réponse spectrale du filtre présente des lobes secondaires beaucoup plus faibles que dans le cas d'un réseau standard.

Les deux exemples précédents peuvent être extrapolés aisément par un homme de métier pour réaliser un réseau à gaine artificielle qui soit à la fois apodisé et chirpé.

La figure 5 représente un exemple de réseau à gaine artificielle selon l'invention, dont la variation de couplage est obtenue par une variation 5 aussi bien de la taille que de la position de la gaine par rapport au cœur, le long du réseau.

Le substrat 20 comporte un cœur 23 de guide, une gaine artificielle 33 qui entoure le cœur dans une zone d'interaction I4 et un réseau 43 formé 10 dans le cœur 23 dans la zone d'interaction I4. Dans cette zone, on voit que la gaine a une section variable qui va en rétrécissant de son extrémité 33a à son extrémité 33b. Par ailleurs, l'axe de symétrie 16 de la gaine dans le plan de la figure n'est pas confondu ou 15 parallèle à la direction z de propagation dans le cœur qui est linéaire dans la zone d'interaction. L'axe 16 et la direction z sont sécants dans la zone d'interaction de sorte que la gaine présente un décentrement variable dans ladite zone par rapport au 20 cœur.

On peut également obtenir une variation de couplage dans la zone d'interaction, en utilisant une gaine de section constante et en jouant sur le décentrement du cœur par rapport à la gaine. La figure 25 6 illustre un exemple de réalisation de ce type.

Cette figure est une coupe schématique dans un plan parallèle à la surface du substrat et contenant la direction z de propagation.

30 Sur la figure 6, est représenté le substrat 20 dans lequel sont formés une gaine 34, un cœur 24 de

guide et un réseau 44 inscrit dans le cœur dans une zone d'interaction 15 définie par une zone du substrat dans laquelle la gaine entoure le cœur. Dans cet exemple, l'axe de symétrie de la gaine dans le plan de 5 la figure est confondu avec la direction z de propagation tandis que l'axe du cœur 54 est dans ce cas particulier confondu avec la direction z uniquement dans sa partie ne contenant pas le réseau. Cet axe 54 est distinct de la direction z dans sa partie contenant 10 le réseau.

En effet, la partie du cœur contenant le réseau s'écarte de la direction z puis se rapproche de celle-ci pour être à nouveau confondu, de sorte que le cœur du guide est décentré par rapport à la gaine, ce 15 décentrement induisant une variation de couplage.

Les différents exemples de réalisation de réseaux à gaine artificielle décrits précédemment peuvent bien entendu être combinés entre eux. Par ailleurs, dans ces différents exemples, le réseau est 20 inscrit dans le cœur du guide mais il peut bien entendu être inscrit dans la gaine et/ou dans le cœur ou encore dans le substrat.

Le composant de l'invention peut-être bien entendu être aisément intégré dans une architecture 25 optique plus complexe telle que celle d'un amplificateur optique pour réaliser par exemple un aplatisseur de gain ou celle d'un filtre linéaire. L'ensemble des éléments de ces architectures peuvent être réalisés ou non sur le même substrat que le 30 composant de l'invention.

Les figures 7a à 7d illustrent un exemple de procédé de réalisation d'un réseau à gaine artificielle selon l'invention, à partir de la technologie par échange d'ions.

5 Ces figures sont des coupes dans un plan perpendiculaire à la surface du substrat et perpendiculaire à la direction z de propagation et contenant une zone d'interaction, par exemple la zone d'interaction II contenante la gaine élémentaire 3d de
10 la figure 2.

Ainsi, sur la figure 7a sont représentés le substrat 20 contenant des ions B.

Un premier masque 61 est réalisé par exemple par photolithographie sur une des faces du substrat ; ce masque comporte une ouverture déterminée en fonction de la forme et des dimensions (largeur, longueur) de la gaine 3 que l'on souhaite obtenir.

Un premier échange ionique est alors réalisé entre des ions A et les ions B contenus dans le substrat, dans une zone du substrat située au voisinage de l'ouverture du masque 61. Cet échange est obtenu par exemple en trempant le substrat muni du masque dans un bain contenant des ions A et en appliquant éventuellement un champ électrique entre la face du substrat sur laquelle est disposée le masque et la face opposée. La zone du substrat dans laquelle a été réalisée cet échange ionique forme la gaine, qui comme on l'a vu précédemment peut être non uniforme en dimensions, en forme et/ou présenter un centrage
30 variable .

Pour enterrer cette gaine, une étape de rediffusion des ions A peut être réalisée avec l'assistance ou non d'un champ électrique appliqué comme précédemment. La figure 7b, représente la gaine 5 après une étape d'enterrage partielle de celle-ci. Le masque 61 est enlevé généralement avant cette étape.

La réalisation de la gaine selon l'invention s'apparente donc à la réalisation d'un cœur de guide mais avec des dimensions différentes.

10 L'étape suivante représentée figure 7c consiste à former un nouveau masque 65 sur le substrat par exemple par photolithographie après éventuellement un nettoyage de la face du substrat sur lequel il est réalisé. Ce masque comporte des motifs aptes à 15 permettre la réalisation d'un cœur 19 de guide et en particulier lorsque le cœur comporte un réseau, les motifs du masque 65 peuvent être adaptés aux motifs du réseau à former.

Un deuxième échange ionique est alors 20 réalisé entre les ions B du substrat et des ions C qui peuvent-être les mêmes ou non que les ions A. Cet échange ionique peut être réalisé comme précédemment en trempant le substrat dans un bain contenant des ions C et en appliquant éventuellement un champ électrique.

25 Enfin, la figure 7d illustre le composant obtenu après enterrage du cœur 19 obtenu par rediffusion des ions C et enterrage final de la gaine, avec l'assistance ou non d'un champ électrique. Le masque 65 est généralement supprimé avant cette étape 30 d'enterrage.

Les conditions du premier et du deuxième échanges ioniques sont définies de façon à obtenir les différences d'indices de réfraction souhaitées entre le substrat, la gaine et le cœur. Les paramètres 5 d'ajustement de ces différences sont notamment le temps d'échange, la température du bain, la concentration en ions du bain et la présence ou non d'un champ électrique.

A titre d'exemple de réalisation, le 10 substrat 20 est du verre contenant des ions Na^+ , le masque 61 est en aluminium.

Le premier échange ionique est réalisé avec un bain comportant des ions Ag^+ environ à 20% de concentration, à une température d'environ 330°C et 15 pendant un temps d'échange de 5 mn environ. Une rediffusion des ions a tout d'abord lieu à l'air libre à une température d'environ 330°C et pendant 30 s, puis on effectue un enterrage partiel de la gaine ainsi formée dans le verre. Cet enterrage est réalisé par 20 une rediffusion dans un bain de sodium à une température d'environ 260°C. la durée de cette étape dépend de la profondeur d'enterrage souhaitée pour le composant final. Ainsi pour un composant en surface une durée d'environ 3 minutes est suffisante alors que pour 25 un composant enterré on choisira plutôt une durée d'environ 20 minutes. Dans ce second cas il est aussi nécessaire de faire un enterrage sous champ de la gaine avant le second échange. On applique ainsi un courant de 20 mA entre deux bains de sodium de part et d'autre 30 de la plaquette à une température de 260°C et durant 10 minutes.

Le masque 65 est aussi en aluminium.

Le deuxième échange ionique est réalisé avec un bain comportant des ions également Ag^+ environ à 20% de concentration, à une température d'environ 5 330°C et pendant un temps d'échange de 5 mn environ, une rediffusion des ions a tout d'abord lieu à l'air libre à une température d'environ 330°C et pendant 30s. Puis on réalise, un enterrage partiel du cœur ainsi formé dans le verre par une rediffusion dans un bain de 10 Sodium à une température d'environ 260°C et pendant 3 mn. Pour un composant enterré, cette étape n'est pas nécessaire.

L'enterrage final de la gaine et du cœur se fait sous champ électrique les deux faces opposées du 15 substrat étant en contact de deux bains (dans cet exemple du sodium) apte à permettre d'appliquer une différence de potentiel entre ces deux bains. Pour un composant en surface une durée inférieure à la minute est suffisante, dans le cas d'un composant enterré une 20 durée de l'ordre de 30 minutes est utilisée, l'enterrage se faisant avec un courant de 20 mA à 240°C.

De nombreuses variantes du procédé décrit précédemment peuvent être réalisées. Notamment, les 25 étapes d'enterrage de la gaine et du cœur peuvent être réalisées comme décrit précédemment au cours de 2 étapes successives mais elles peuvent également être réalisées dans certains cas simultanément, le cœur ayant une concentration ionique supérieure à celle de 30 la gaine, il est enterré plus vite que la gaine, ce

qui permet en outre un éventuel centrage du cœur dans la gaine.

La différence de concentration entre le cœur et la gaine est généralement obtenue soit par une 5 rediffusion dans un bain, des ions formant la gaine soit par une différence de concentration des ions introduits aux étapes a) et b).

Comme on l'a vu précédemment, pour réaliser l'enterrage de la gaine et du cœur, une variante du 10 procédé consisterai à déposer sur le substrat 20, une couche de matériau 68, représentée en pointillés sur la figure 7d. Ce matériau, pour permettre un guidage optique doit présenter avantageusement un indice de réfraction inférieur à celui de la gaine.

15 La réalisation du composant selon l'invention n'est pas limitée à la technique d'échange d'ions. Le composant de l'invention peut être réalisé bien entendu par toutes les techniques qui permettent de modifier l'indice de réfraction du substrat.

20 Par ailleurs, comme on l'a vu précédemment, la période, la taille, la position du réseau réalisé, par rapport au cœur et à la gaine, sont des paramètres qui peuvent-être adaptées en fonction des applications.

25 Le motif du réseau peut être défini sur le masque permettant la réalisation de la gaine et/ou sur le masque permettant la réalisation du cœur ou encore sur un masque spécifique pour la réalisation uniquement du réseau.

30 Les figures 8a à 8d illustrent des exemples de réalisation de masques M1, M2, M3 , M4 permettant

d'obtenir un réseau. Ces figures sont des vues de dessus des masques et ne représentent que la partie des masques permettant d'obtenir le réseau. Les zones blanches du motif des masques correspondent aux 5 ouvertures de ces derniers.

Ces masques permettent d'obtenir un réseau périodique de période Λ . Les masques M1 et M4 permettent d'obtenir un réseau par segmentation tandis que les masques M2 et M3 permettent d'obtenir un réseau 10 par variation de largeur des motifs.

Ces masques peuvent être par exemple des masques spécifiques pour la réalisation du réseau dans le cœur et/ou dans la gaine ou encore dans le substrat ou une partie des masques permettant l'obtention du cœur et/ou de la gaine, le réseau étant réalisé alors 15 en même temps que le cœur et/ou la gaine.

Les figures 2 à 6 précédemment décrites illustrent des exemples de réseau formé dans le cœur du guide.

20

La figure 9 illustre un exemple de réalisation d'un réseau à gaine artificielle selon l'invention dont le réseau est réalisé par segmentation de la gaine 35.

Ainsi, le réseau est formé dans la gaine 25 par une alternance de période Λ , de zones 46 d'indice de réfraction différent de celui du reste de la gaine. Ces zones 46 présentent une longueur variable considérée dans la direction z de propagation d'une 30 onde lumineuse dans le cœur 25. Par ailleurs, la largeur de la gaine considérée dans une direction

perpendiculaire à la direction z est également variable pour obtenir un couplage variable. Le cœur, comme dans les exemples précédents traverse la gaine, le réseau étant de ce fait inscrit également dans le cœur,
5 autrement dit le cœur comporte également des zones d'indice de réfraction différent de celui du reste du cœur.

Les réseaux peuvent être formés par toutes les techniques classiques permettant de modifier
10 localement l'indice effectif du substrat dans le cœur et/ou dans la gaine.

Ils peuvent donc être réalisés au cours des échanges ioniques permettant de réaliser le cœur et/ou la gaine ou au cours d'un échange ionique spécifique.
15 Ils peuvent également être obtenus par une gravure du substrat au niveau de la zone d'interaction ou par un rayonnement. En particulier, les réseaux peuvent être obtenus par isolation du cœur et/ou de la gaine avec un laser de type CO₂. Le laser en produisant des
20 échauffements localisés permet de rediffuser localement des ions et inscrire ainsi le motif des réseaux.

A titre d'exemple, on peut balayer le substrat avec un faisceau laser modulé par exemple en amplitude de manière à introduire une modulation du
25 réseau au pas souhaité.

REVENDICATIONS

1. Réseau à gaine artificielle en optique intégrée caractérisé en ce qu'il comporte dans un substrat un cœur de guide optique (2, 21, 22, 23, 24, 25), une gaine optique (3, 31, 32, 33, 34, 35) indépendante du cœur et entourant au moins une portion du cœur dans une zone du substrat dite zone d'interaction (I1, I2, I3, I4, I5) comprenant un réseau (19, 41, 42, 43, 44, 46) apte à coupler au moins un mode guidé du cœur à au moins un mode de gaine ou inversement, ladite zone d'interaction comportant une variation de couplage le long de la direction de propagation des modes, l'indice de réfraction de la gaine étant différent de l'indice de réfraction du substrat et inférieur à l'indice de réfraction du cœur au moins dans la partie de la gaine voisine du cœur dans la zone d'interaction.
- 20 2. Réseau à gaine artificielle en optique intégrée selon la revendication 1, caractérisé en ce que la variation de couplage le long de la direction de propagation des modes peut-être une variation de force de couplage et/ou de longueur d'onde de couplage.
- 25 3. Réseau à gaine artificielle en optique intégrée selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la variation de couplage est obtenue par une modulation de la section de la gaine dans la zone d'interaction.

4. Réseau à gaine artificielle en optique intégrée selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la variation de couplage est obtenue par une modulation du centrage du cœur par rapport à la section de la gaine.

5. Réseau à gaine artificielle en optique intégrée selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que la modulation de la section de la gaine et/ou la modulation du centrage du cœur par rapport à la section de la gaine est une variation uniforme.

6. Réseau à gaine artificielle en optique intégrée selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que la modulation de la section de la gaine et/ou la modulation du centrage du cœur par rapport à la section de la gaine est une variation par paliers.

7. Procédé de réalisation d'un réseau à gaine artificielle selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que, la gaine, le cœur du guide et le réseau sont réalisés respectivement par une modification de l'indice de réfraction du substrat de façon à ce qu'au moins dans la partie de la gaine voisine du cœur et au moins dans la zone d'interaction, l'indice de réfraction de la gaine soit différent de l'indice de réfraction du substrat et inférieur à l'indice de réfraction du cœur et de façon à ce que la zone d'interaction présente une variation de couplage le long de la direction de propagation des modes.

8. Procédé de réalisation selon la revendication 7, caractérisé en ce que la modification de l'indice de réfraction du substrat est obtenue par 5 rayonnement et/ou par introduction d'espèces ioniques.

9. Procédé de réalisation selon la revendication 7 ou 8, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

10 - a) introduction d'une première espèce ionique dans le substrat de façon à permettre l'obtention après l'étape c) de la gaine optique,

15 - b) introduction d'une deuxième espèce ionique dans le substrat de façon à permettre l'obtention après l'étape c) du cœur de guide,

20 - c) enterrage des ions introduits aux étapes a) et b) de façon à obtenir la gaine et le cœur du guide,

- d) formation du réseau.

10. Procédé de réalisation selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'introduction 25 de la première et/ou de la deuxième espèces ioniques est réalisée par un échange ionique ou par implantation ionique.

11. Procédé de réalisation selon la 30 revendication 9 ou 10, caractérisé en ce que le substrat est du verre et contient des ions Na^+ , la

première et la deuxième espèces ioniques sont des ions Ag⁺ et/ou K⁺.

12. Procédé de réalisation selon l'une
5 quelconque des revendications 9 à 11, caractérisé en ce que l'étape a) comprend la réalisation d'un premier masque (61) comportant un motif apte à l'obtention de la gaine, l'introduction de la première espèce ionique étant réalisée à travers ce premier masque et l'étape
10 b) comprend l'élimination du premier masque et la réalisation d'un deuxième masque (65) comportant un motif apte à l'obtention du cœur, l'introduction de la deuxième espèce ionique étant réalisée à travers ce deuxième masque.

15

13. Procédé de réalisation selon l'une quelconque des revendications 9 à 12, caractérisé en ce que le réseau est obtenu par introduction d'espèces ioniques à travers un masque permettant l'obtention du cœur et/ou de la gaine ou par un masque spécifique.

14. Procédé de réalisation selon l'une quelconque des revendications 9 à 13, caractérisé en ce que le réseau est obtenu par des échauffements locaux.

25

15. Procédé de réalisation selon l'une quelconque des revendications 9 à 14 caractérisé en ce que le réseau est obtenu par gravure du substrat au voisinage de la zone d'interaction.

30

16. Procédé de réalisation selon l'une quelconque des revendications 9 à 15, caractérisé en ce qu'au moins une partie de l'enterrage est réalisée avec l'application d'un champ électrique.

5

17. Procédé de réalisation selon l'une quelconque des revendications 9 à 16, caractérisé en ce qu'au moins une partie de l'enterrage est réalisée par une rediffusion dans un bain ionique.

10

18. Procédé de réalisation selon l'une quelconque des revendications 9 à 17, caractérisé en ce que tout ou partie de l'enterrage est réalisé par un dépôt d'au moins une couche (68) sur la surface du substrat.

15

19. Procédé de réalisation selon l'une quelconque des revendications 9 à 18, caractérisé en ce que l'introduction de la première espèce ionique et/ou 20 l'introduction de la deuxième espèce ionique sont réalisées avec l'application d'un champ électrique.

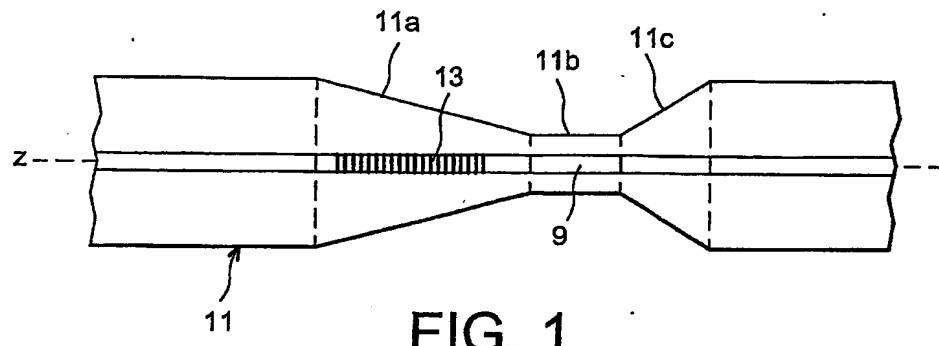


FIG. 1

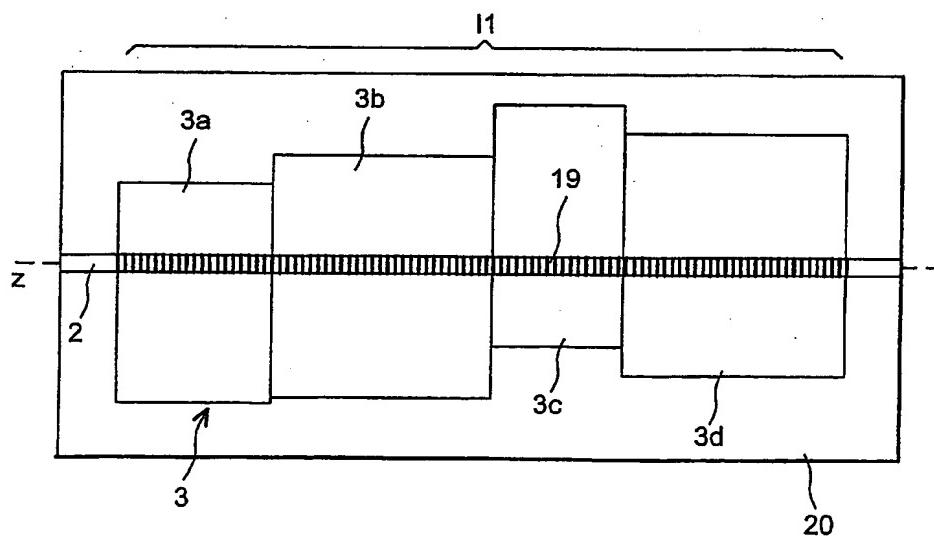


FIG. 2

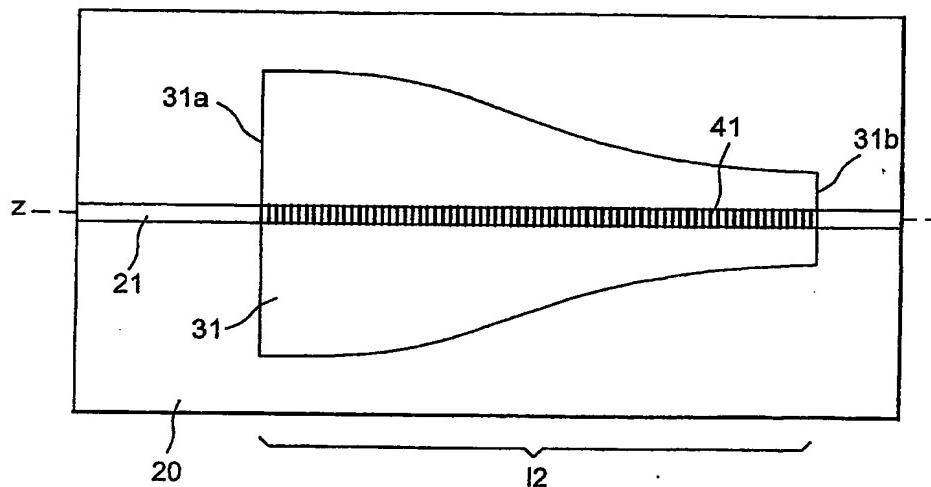


FIG. 3

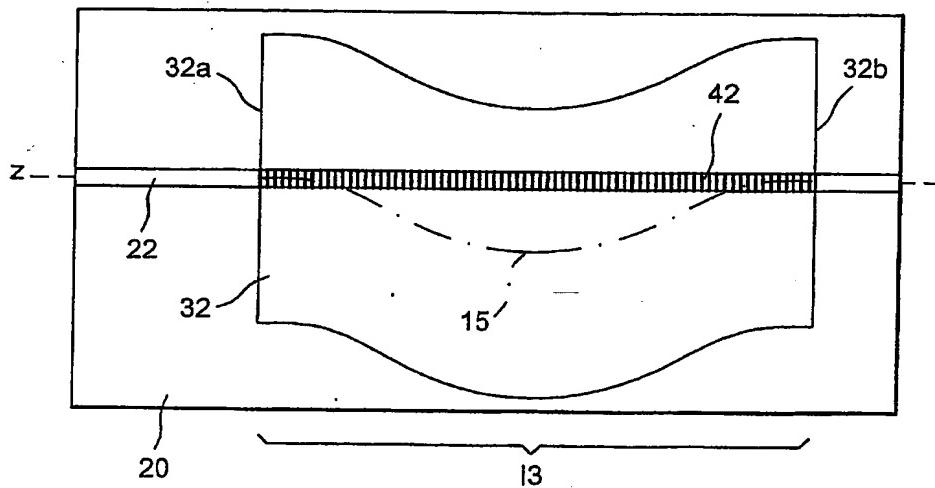


FIG. 4

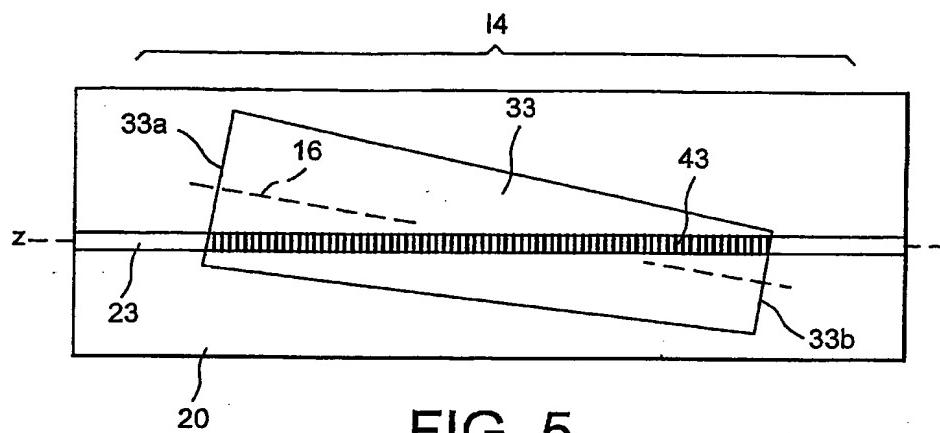


FIG. 5

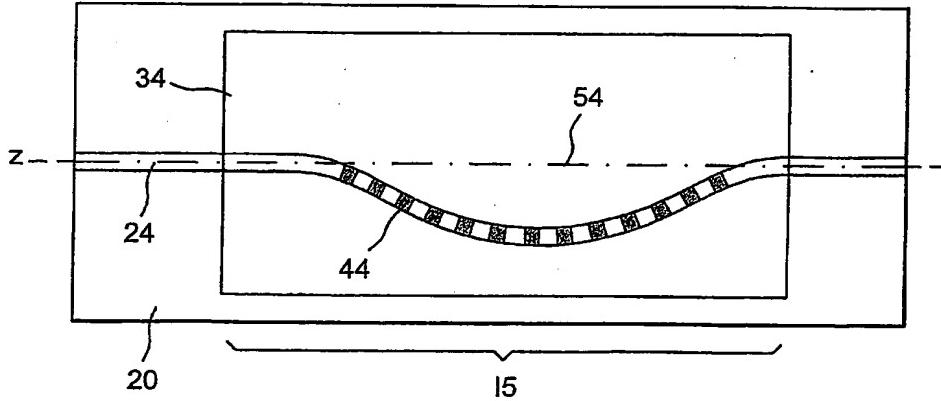


FIG. 6

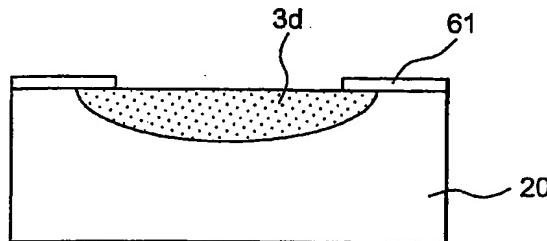
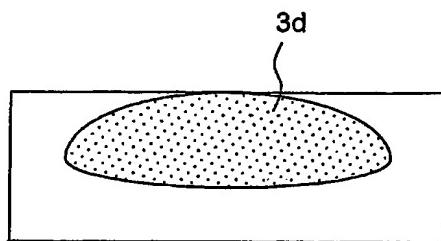
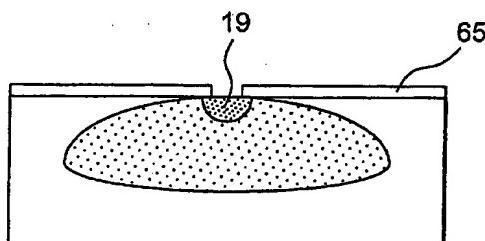
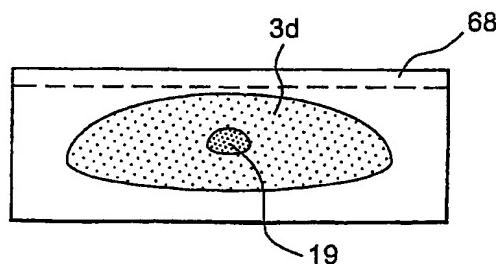
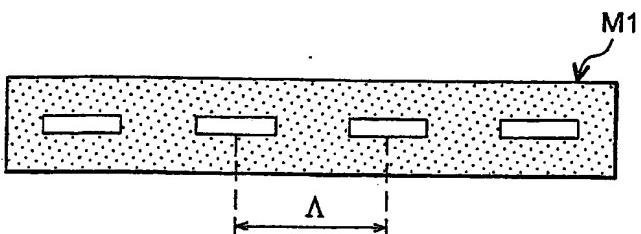
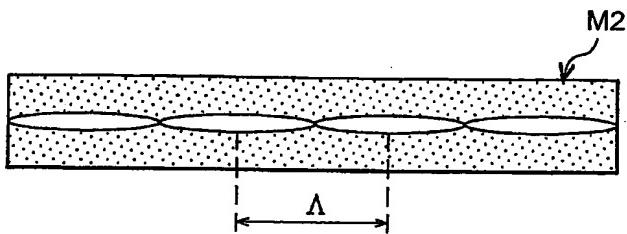
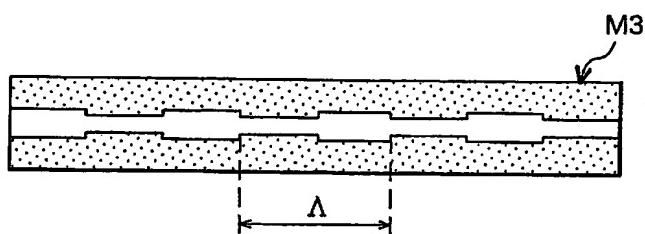
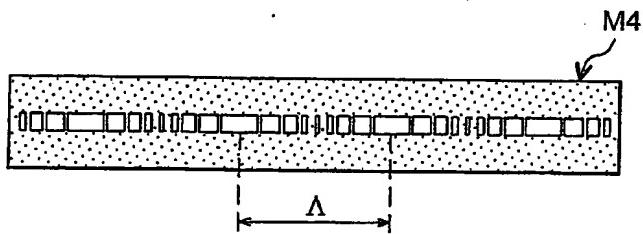
FIG. 7a**FIG. 7b****FIG. 7c****FIG. 7d**

FIG. 8a**FIG. 8b****FIG. 8c****FIG. 8d****FIG. 9**